

刚柔并济的“三维水凝胶晶体管”开辟生物电子融合新途径

长期以来,电子器件与生物组织之间存在着难以跨越的“物理鸿沟”:传统的硅基晶体管坚硬、平整且以二维形式存在,而生物体(如大脑)则是柔软、立体且复杂的。为了解决这一“模量与维度失配”难题,香港大学张世明教授团队成功研发出一种具有毫米级调控厚度的三维水凝胶晶体管。该研究突破了有机电化学晶体管长期面临的“厚度-性能”制约,通过增加器件的维度,使其在保持生物组织般柔软特性的同时,具备了强大的电子信号处理能力。2025年11月20日,相关研究成果发表于《Science》。

研究核心在于一种独特的“双网络水凝胶”策略。传统的导电水凝胶一旦增厚,离子便难以渗透至材料深层,导致器件性能急剧下降。为此,团队在微观层面构建了“电子骨架”与“离子隧道”协同的复合结构:利用辅助聚合物网络引导导电聚合物(PEDOT:PSS)形成连续的三维电子通路,同时通过精确控制孔隙率构建离子高速公路。这种设计如同将实心的“砖头”转化为吸满水的“海绵”,使得离子能够瞬间渗透至毫米级厚度的材料内部,实现了真正的三维体积调控。

得益于这种材料突破,新型三维水凝胶晶体管展现出了卓越的电化学性能。实验表明,该器件在厚度达到1 mm时仍能保持极高的跨导,其开关比高达104,



三维毫米级厚度的半导体水凝胶纤维,可用于构建与细胞交织的活体晶体管,从而模拟大脑中真实的神经元连接
(图片来源:《Science》封面)

且电荷存储能力与体积呈完美的线性关系。更关键的是,该材料的机械模量低至千帕(kPa)级别,与生物脑组织高度匹配,从根本上解决了植入式器件因硬度差异引起的免疫排斥和胶质疤痕问题,为长期稳定的神经接口提供了理想的材料基础。

在应用层面,该技术展示了令人振奋的神经形态计算潜力。团队将这种三维半导体加工成纤维状晶体管,并在物理空间上编织成模仿大脑神经连接的互穿电路阵列。结合团队自主研发的硬币大小读出芯片(PERfect系统),该系统在“储备池计算”演示中实现了对受损手写数字91.93%的高准确率识别,即便在拉伸变形30%的情况下仍能稳定工作。

这一成果标志着生物电子学正从“薄膜时代”迈向“三维实体时代”,未来有望催

生出能与人体组织无缝融合的智能义肢、植入式治疗芯片及“电子皮肤”等革命性技术。

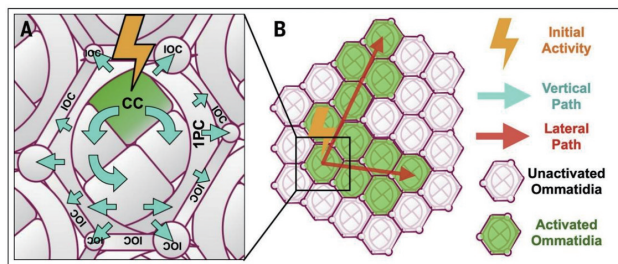
(来源:《Science》)

钙离子波可“校准”果蝇复眼的蜂巢光学结构

在生物发育过程中,细胞不仅需要通过读取DNA(脱氧核糖核酸)获得正确的身份,还必须精准地排列成特定的几何形状才能行使功能。对于节肢动物复杂的复眼而言,数以百计的小眼(ommatidia)如何克服个体大小差异,组装成完美均匀的六边形晶格结构,一直是发育生物学中的未解之谜。

纽约大学等研究团队发现在果蝇复眼发育的关键期,非神经支持细胞中会产生自发的、同步化的钙离子波,这些钙波如同“指挥棒”一般,协调了整个视网膜组织的形态发生,确保了光学结构的均匀性。2025年11月20日,相关研究成果发表于《Science》。

果蝇的复眼由约800个小眼组成,每个小眼包含8个光感受器神经元,周围包裹着视锥细胞(cone cells)和色素细胞(pigment cells)等非神经支持细胞。与以



视网膜钙波塑造区域性钙信号,协调复眼单元重塑

(图片来源:《Science》)